ГУАП

КАФЕДРА №3.

ОТЧЕТ

ЗАЩИЩЕН С ОЦЕНКОЙ

ПРЕПОДАВАТЕЛЬ

доц. канд. физ-мат. наук		И.П. Крестунова
должность, уч. степень, звание	подпись, дата	инициалы, фамилия

20.12.17

ОТЧЕТ О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ
№10 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ЗВУКА В ВОЗДУХЕ.
ПО КУРСУ: ОБЩАЯ ФИЗИКА

РАБОТУ ВЫПОЛНИЛА

СТУДЕНТКА ГР. 1732	20.12.17	П.Ю. Яременко
	подпись, дата	инициалы, фамилия

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ 2017.

Лабораторная работа № 10.

Определение скорости звука в воздухе.

Протокол измерений.

Студентки группы № 1732 Ярименко П.Ю.

Преподаватель Крестунова И.П.

Параметры приборов

Прибор	Предел измерений	Цена деления	Класс точности	Систематическая погрешность
Звуковой генератор	$99.9 \cdot 10^3$ Гц	10 Гц	—	5 Гц
Линейка	77,5 см	1 см	—	0,2 см
Термометр	50 °C	1 °C	—	0,5 °C

Результаты измерений

$\nu_1 = 1500$ Гц

n	1	2	3	4	5
$l_{пр}$, см	23	47	—	—	—
$l_{обр}$, см	11	35,5	59	—	—
$l_{ср}$, см	17	41,25	59		

$\nu_2 = 2000$ Гц

n	1	2	3	4	5
$l_{пр}$, см	17	35	52	—	—
$l_{обр}$, см	9	26,5	43	60	—
$l_{ср}$, см	13	30,75	47,5	60	

T = 19 °C

Подпись студента

Дата 06.12.17.

Подпись преподавателя

1. Цель работы:

- Определение скорости распространения звуковых волн в воздухе.

2. Описание лабораторной установки.

Блок-схема лабораторной установки

1 2 x y 3 4 5 6

Генератор 1, при помощи которого полученные электрические колебания звуковой частоты подаются одновременно на пластины x осциллографа 2 и на телефон 5. Звук от телефона распространяется вдоль полой трубы 3 и достигает микрофона 4. Сигнал из микрофона с некоторой задержкой по фазе подается на пластины y осциллографа. При изменении расстояния (которое можно измерить линейкой 6), между телефоном и микрофоном изменяется разность фаз колебаний, а значит, зависящая от нее форма эллипса.

Параметры приборов

Прибор	Предел измерений	Цена деления	Класс точности	Систематическая погрешность
Звуковой генератор	$99{,}9 \cdot 10^3$ Гц	10 Гц	—	5 Гц
Линейка	77,5 см	1 см	—	0,2 см
Термометр	50 °C	1 °C	—	0,5 °C

3. Рабочие формулы:

Скорость звука v связана с длиной волны λ и частотой колебаний ν соотношением: $v = \lambda \nu$ (1)

Скорость звука в воздухе можно теоретически рассчитать по формуле: $v_т = \sqrt{\frac{7}{5} \cdot \frac{RT}{M}}$ (2), где T – абсолютная температура; молярная масса воздуха $M = 0{,}0291$ кг/моль; R – универсальная газовая постоянная $= 8{,}314$ Дж/К·моль.

Длина волны: $\lambda = 2 tg \alpha$ (3)

Абсолютная температура: $T(K) = t°C + 273{,}15 K$, где $t°C$ – температура воздуха при опыте. (4)

Среднее значение l: $l_{ср} = \frac{\sum_{i=1}^{n} l}{n}$ (5)

4. Результаты измерений и вычислений:

$\nu_1 = 1500$ Гц				
n	1	2	3	4
$l_{пр}$, см	23	47	—	—
$l_{обр}$, см	11	35,5	59	—
$l_{ср}$, см	17	41,25	59	—
λ, см	23,6			
v, м/с	354			

$t = 19°C$

$v_т = 341{,}8$

$\nu_2 = 2000$ Гц				
n	1'	2'	3'	4'
$l_{обр}$, см	9	26,5	43	60
$l_{пр}$, см	17	35	52	—
$l_{ср}$, см	13	30,75	47,5	60
λ, см	17,1			
v, см	342,8			

5. Примеры вычислений:

I По формуле (5) $l_{ср} = \frac{\sum_{i=1}^{n} l}{n}$: $l_{ср.1} = \frac{11 + 23}{2} = 17$ см.

$l_{ср.2} = \frac{47 + 35,5}{2} = 41,25$ см.

$l_{ср.3} = \frac{0 + 59}{1} = 59$ см.

По графику экспериментальной зависимости l от n:

$tg\alpha = \frac{59}{5} = 11,8$

По формуле (3) $\lambda = 2\, tg\alpha$: $\lambda = 2 \cdot 11,8 = 23,6$ см.

По формуле (1) $v = \lambda\nu$: $v = 23,6 \cdot 1500 = 354$ м/с

II По формуле (5) $l_{ср} = \frac{\sum_{i=1}^{n} l}{n}$: $l_{ср.11} = \frac{9 + 17}{2} = 13$ см

$l_{ср.21} = \frac{26,5 + 35}{2} = 30,75$ см

$l_{ср.31} = \frac{43 + 52}{2} = 47,5$ см

$l_{ср.41} = \frac{0 + 60}{1} = 60$ см

По графику экспериментальной зависимости l от n:

$tg\alpha = \frac{60}{7} = 8,6$


По формуле (3) $\lambda = 2\, tg\alpha$: $\lambda = 2 \cdot 8,6 = 17,1$ см

По формуле (1) $v = \lambda\nu$: $v = 17,1 \cdot 2000 = 342,8$ м/с

По формуле (4) $T = t°C + 273,15\,K$: $T(K) = 19 + 273,15 = 292,15\,K$

По формуле (2) $v_T = \sqrt{\frac{7}{5}\frac{RT}{M}}$: $v_T = \sqrt{\frac{7 \cdot 8,314\ Дж/к.моль \cdot 292,15\,K}{5 \cdot 0,0291\ кг/моль}} =$

$= 341,8$ м/с



6. Вычисление погрешностей

6.1. Систематическая погрешность:

$\theta_L = 0{,}2$ мм

$\theta_\nu = 5$ Гц ; $\theta_n = 0$

6.2. Вывод формулы для систематической погрешности косвенного измерения длины волны:

$$\lambda \approx \lambda(L, n) = \frac{2L}{n} \Rightarrow \theta_\lambda \approx \lambda\left(\frac{\theta_L}{L} + \frac{\theta_n}{n}\right)$$

Расчеты по выведенной формуле:

$$\theta_{\lambda_1} = 23{,}6\left(\frac{0{,}2}{59} + 0\right) = 0{,}08$$

$$\theta_{\lambda_{11}} = 17{,}1\left(\frac{0{,}2}{60} + 0\right) = 0{,}06$$

6.3. Вывод формулы систематической погрешности для скорости звука:

$$v \approx v(\lambda, \nu) = \lambda\nu \Rightarrow \theta_v = v\left(\frac{\theta_\lambda}{\lambda} + \frac{\theta_\nu}{\nu}\right).$$

Расчеты по выведенной формуле:

$$\theta_{v_1} = 354\left(\frac{0{,}08}{23{,}6} + \frac{5}{1500}\right) = 2{,}4$$

$$\theta_{v_{11}} = 342{,}8\left(\frac{0{,}06}{17{,}1} + \frac{5}{2000}\right) = 2{,}0$$


7. Вывод: в ходе работы я определила скорости распространения звуковых волн в воздухе, $v_{экспер} \sim v_{теор}$.

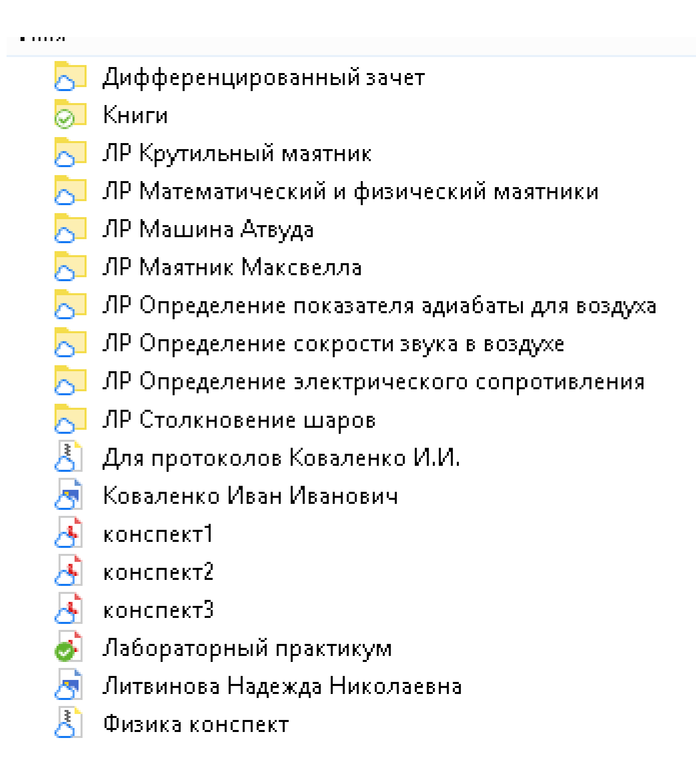
м/с 342,8 ~ 341,8 м/с

$\lambda_1 = 23{,}6 \pm 0{,}08$ см. $v = 342{,}8 \pm 2$ м/с.

$\lambda_2 = 17{,}1 \pm 0{,}06$ см

Все отклонения в пределах погрешности.


lср, см
59
47
41,25
35,5
23
17
11
10
0
α
1
2
3
4
n
tgα = 11,8.
Экспериментальная зависимость l от n при ν = 1500 Гц
lср, см
60
52
47,5
43
35
30,75
26,5
17
13
9
α
0
1
2
3
4
n
tgα = 8,6
Экспериментальная зависимость l от n при ν = 2000 Гц



СКАЧАТЬ https://yadi.sk/d/RqO8HPxTfh0z_w
СКАЧАТЬ https://archive.org/details/@guap4736_vkclub152685050



vk.com/club152685050
vk.com/id446425943

Лабораторная работа № 10

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ЗВУКА В ВОЗДУХЕ

Цель работы: определение скорости распространения звуковых волн в воздухе.

Теоретические сведения

Звуковые волны представляют собой процесс распространения механических колебаний с частотами в диапазоне от 20 Гц до 20 кГц. Скорость звука υ связана с длиной волны λ и частотой колебаний ν соотношением:

$$\upsilon = \lambda\nu. \tag{10.1}$$

Скорость звука в воздухе можно теоретически рассчитать по формуле

$$\upsilon = \sqrt{\frac{7}{5} \cdot \frac{RT}{M}}, \tag{10.2}$$

в которой T – абсолютная температура; M = 0,0291 кг/моль – молярная масса воздуха; R = 8,314 Дж/К·моль – универсальная газовая постоянная.

Уравнение волны, распространяющейся вдоль оси (ox), имеет вид

$$\xi(x,t) = A\cos(\omega t - kx). \tag{10.3}$$

В этой формуле ξ – смещение точки среды из положения равновесия, находящегося на расстоянии x от источника; ω – циклическая частота колебаний; $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число. Фаза колебаний

$$\varphi = \omega t - kx = \frac{2\pi t}{T} - \frac{2\pi x}{\lambda} \tag{10.4}$$

зависит от времени и от положения точки. Разность фаз колебаний двух соседних точек зависит только от расстояния Δx между ними

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi \Delta x}{\lambda}. \tag{10.5}$$

Таким образом, длину звуковой волны можно найти, измерив на опыте величины Δx и $\Delta\varphi$. Разность фаз колебаний можно определить методом сложения двух взаимно перпендикулярных колебаний.

Точка, совершающая одновременно два колебания во взаимно перпендикулярных направлениях, движется по замкнутым траекториям, называемым *фигурами Лиссажу*. В случае равенства частот эти фигуры представляют собой эллипсы, форма и ориентация которых зависит от амплитуд и от разности фаз складываемых колебаний.

Рассмотрим два гармонических колебания одинаковой частоты, одно из которых происходит вдоль оси (ox), а другое – вдоль (oy). Для простоты начальную фазу первого колебания положим равной нулю:

$$\begin{aligned} x &= A_1 \cos(\omega t), \\ y &= A_2 \cos(\omega t + \Delta\varphi). \end{aligned} \tag{10.6}$$

Уравнение траектории точки, одновременно участвующей в этих двух колебаниях, найдем, исключив время t из уравнений (10.6):

$$\begin{cases} x/A_1 = \cos\omega t, \\ y/A_2 = \cos\omega t \cos\Delta\varphi - \sin\omega t \sin\Delta\varphi; \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \quad y/A_2 = (x/A_1)\cos\Delta\varphi - \sin\Delta\varphi\sqrt{1-(x/A_1)^2}; \quad \Rightarrow$$

$$(x/A_1)^2 + (y/A_2)^2 - \frac{2xy\cos\Delta\varphi}{A_1 A_2} = \sin^2\Delta\varphi. \tag{10.7}$$

Получилось уравнение наклонного эллипса, ориентация и полуоси которого зависят от амплитуд A_1, A_2 и от разности фаз $\Delta\varphi$ (рис. 10.1, *а*). Если $\Delta\varphi = 2\pi k$, где k – целое число, получим уравнение отрезка прямой, проходящего через 1-й и 3-й квадранты (рис. 10.1, *б*):

$$y = (A_2/A_1)x. \tag{10.8}$$

Если $\Delta\varphi = (2k+1)\pi$, где k – целое число, получим уравнение отрезка прямой, проходящего через 2-й и 4-й квадранты (рис. 10.1, *в*):

$$y = -(A_2/A_1)x. \tag{10.9}$$

Если $\Delta\varphi = (k+0{,}5)\pi$, где k – целое число, получим уравнение эллипса, ориентированного вдоль координатных осей (рис. 10.1, *г*):

$$\left(\frac{x}{A_1}\right)^2 + \left(\frac{y}{A_2}\right)^2 = 1. \tag{10.10}$$

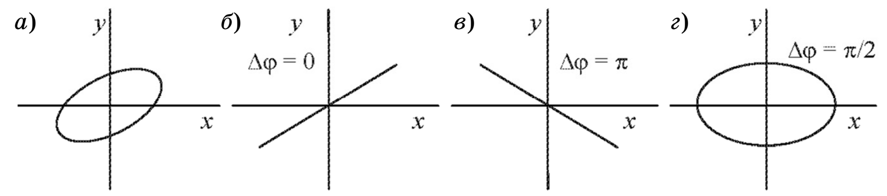


Рис. 10.1. Различные траектории движения точки

Таким образом, по форме наблюдаемого эллипса можно определить разность фаз колебаний $\Delta\varphi$. В дальнейшем особый интерес будут представлять случаи *б* и *в*, когда эллипс вырождается в отрезок. Эти случаи удобно наблюдать экспериментально. Существенно, что изменение фазы от одного из них к другому составляет $\Delta\varphi = \pi$.

В настоящей работе звуковой сигнал с телефона попадает на микрофон, находящийся на расстоянии ℓ от него. Сигналы с телефона и с микрофона подаются на отклоняющие пластины x и y электронного осциллографа соответственно. Расстояние ℓ можно изменять и измерять во время эксперимента; вместе с ним, согласно формуле **(10.5)**, меняется и разность фаз $\Delta\varphi$ колебаний телефона и микрофона. Поскольку по картинке на экране осциллографа можно зафиксировать лишь разности фаз $\Delta\varphi$ кратные π, при которых эллипс вырождается в отрезок, величина $n = \Delta\varphi/\pi$ на опыте должна принимать только целые значения. Она увеличивается на единицу всякий раз, когда при увеличении расстояния ℓ на экране эллипс превращается отрезок.

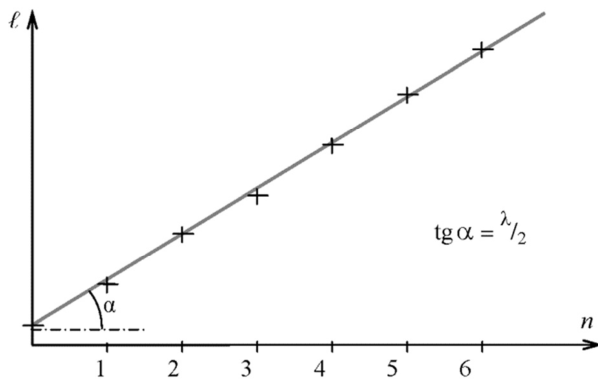


Рис. 10.2. Экспериментальная зависимость ℓ от n

С учетом сказанного формулу (10.5) можно переписать в виде

$$\Delta\ell = \frac{n\lambda}{2}. \qquad (10.11)$$

Зависимость $\ell(n)$ наблюдаемая в опыте (рис.10.2), должна представлять собой прямую линию, по угловому коэффициенту ($k = \mathrm{tg}\alpha$) которой можно найти длину волны λ:

$$\lambda = 2\mathrm{tg}\alpha. \qquad (10.12)$$

Подставив полученное таким способом значение длины волны λ и установленную на звуковом генераторе частоту колебаний в формулу (10.1), можно найти скорость звуковых волн.

Лабораторная установка

Блок-схема лабораторной установки приведена на рис. 10.3.

Электрические колебания звуковой частоты, полученные при помощи генератора 1, подаются одновременно на пластины х осциллографа 2 и на телефон 5. Звук от телефона распространяется вдоль полой трубы 3 и достигает микрофона 4. В электрической цепи микрофона возникает электрический сигнал на той же частоте, что и на выходе генератора, но с некоторой задержкой по фазе. Этот сигнал подается на пластины у осциллографа. На экране появляется эллипс, форма которого зависит кроме всего прочего от разности фаз колебаний, подаваемых на разные пластины осциллографа. При изменении расстояния, которое можно измерить линейкой 6, между телефоном и микрофоном изменяется разность фаз колебаний, а следовательно, и форма эллипса.

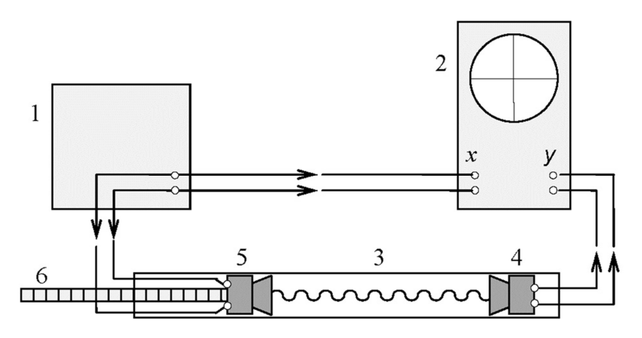


Рис. 10.3. Блок-схема лабораторной установки

Задания и порядок их выполнения

Задание 1. Экспериментальное определение скорости звуковых волн в воздухе.

До начала измерений нужно на 2–5 мин включить для прогрева осциллограф и звуковой генератор.

Задание выполняется в следующем порядке.

Установить заданную частоту колебаний.

Пользуясь ручками настройки осциллографа и изменяя величину выходного напряжения, добиться на экране осциллографа четкого, устойчивого эллипса.

Перемещая телефон по трубе, добиться появления на экране прямой линии. Отметить это положение на шкале как ℓ_1.

Медленно перемещая телефон в ту же сторону, снова получить на экране прямую линию, но уже наклоненную в другую сторону, т. е. проходящую через другие квадранты. Отметить соответствующее положение телефона как ℓ_2.

Повторить предыдущий пункт столько раз, сколько это возможно и получить набор положений телефона ℓ_1, ℓ_2, ℓ_3, ..., в которых эллипс вырождается в отрезок прямой. Получить еще один такой же набор данных, перемещая телефон в обратном направлении, и усреднить результаты.

Построить график зависимости положения телефона ℓ_n, от порядкового номера n, как это показано на рис.10.2.

Систематическую погрешность расстояния принять равной $\theta_\ell = 2$ мм. Систематическую погрешность θ_n, связанную с неточностью определения точки вырождения эллипса, не учитывать; $\theta_n = 0$.[1]

Графически найти длину звуковой волны λ и ее систематическую погрешность.

По формуле (10.1) найти скорость звуковых волн.

Повторить измерения для звукового сигнала другой частоты.

Задание 2. Теоретический расчет скорости звуковых волн в воздухе.

Вычисления нужно проводить по формуле (10.2), значения констант, необходимые для расчета, указаны в комментариях к формуле. Для определения температуры воздуха t °C нужно вос-

---

[1] В случае, когда эллипс не полностью вырождается в отрезок, следует считать $\theta_n = 0{,}1$.

пользоваться термометром. Абсолютную температуру T можно найти по формуле:

$$T(\text{К}) = t\ ^\circ\text{C} + 273{,}15\text{К}. \quad (10.13)$$

Контрольные вопросы

1. Что называется звуковой волной?
2. Чем отличаются волновые процессы от колебательных?
3. Что такое длина волны и чему она равна?
4. Запишите уравнение бегущей волны и поясните смысл всех величин, в нее входящих.
5. От чего зависит фаза волны? Чему равна разность фаз колебаний двух точек?
6. Получите уравнения траектории точки, участвующей в двух взаимно перпендикулярных колебаниях одинаковой частоты?
7. В каких случаях траектория вырождается в отрезок?
8. Как определяется длина звуковой волны в данной работе?
9. Как зависит скорость звука от температуры воздуха?